



Département des Etudes Préparatoires
aux Concours de Technologie

Épreuve de Physique
(2^{ème} Année de Préparation Biologie - Géologie)
Mercredi 30 Octobre 2024 de 8h30 à 10h30

DEVOIR DE CONTROLE - 1^{ère} Semestre

I. Calorimétrie

Un calorimètre thermiquement isolé, contient une masse d'eau $m_0 = 1 \text{ kg}$ à la température $T_0 = 15^\circ\text{C}$. On réalise deux expériences, qui sont indépendantes l'une de l'autre.

1. On verse une masse d'eau $m = 1 \text{ kg}$ à la température $T = 90^\circ\text{C}$ dans le calorimètre. La température finale étant $T_f = 38,8^\circ\text{C}$. Quelle est en cal/deg la capacité C du calorimètre ?
2. On introduit dans le calorimètre un morceau d'aluminium à la température $T_1 = 45^\circ\text{C}$. La température finale étant $T_f = 38,8^\circ\text{C}$. Quelle est la capacité calorifique de l'aluminium C' en cal/deg ?

On donne : La chaleur spécifique de l'eau $C_0 = 1 \text{ cal/g. deg}$.

II. Changement de phase d'un corps pur

1. Décrire une expérience illustrant la notion de changement de phase d'un corps pur.
 - 2.1. Donner l'allure du diagramme d'état (P, T) d'un corps pur pouvant exister sous trois phases. P et T désignent respectivement la pression et la température du corps pur.
 - 2.2. Préciser la signification physique des courbes et des domaines qu'elles délimitent.
 - 2.3. Définir le point triple et le point critique.
 - 2.4. Expliquer la particularité du diagramme d'état (P, T) de l'eau.
- 3.1. Tracer l'allure des isothermes (pour $T < T_c$; $T = T_c$ et $T > T_c$) dans le diagramme de Clapeyron (P, v) d'un corps pur constitué de deux phases liquide et vapeur en équilibre où v représente le volume massique de ce corps et T_c sa température critique.
Représenter sur le même diagramme les courbes d'ébullition et de rosée et définir la pression de la vapeur saturante P_s , et l'indiquer sur le diagramme.
- 3.2. Indiquer les caractéristiques de l'isotherme critique.
4. On désigne par h l'enthalpie massique du corps pur. L'indice ℓ est relatif à la phase liquide et l'indice v est associé à la phase vapeur. Montrer que le titre massique en vapeur s'écrit :



$$x_v = \frac{v - v_\ell}{v_v - v_\ell} = \frac{h - h_\ell}{h_v - h_\ell}$$

5. On désigne par $L_{vap}(T)$ la chaleur latente de vaporisation d'un corps pur à la température T . Donner la relation liant $L_{vap}(T)$ à $h_v(T)$ et $h_\ell(T)$.

6. On dispose d'un cylindre indéformable muni d'un piston et contenant de l'eau pure. L'ensemble constitue un système adiabatique. On rappelle que l'entropie massique d'un corps pur sous deux phase liquide-vapeur en équilibre s'écrit :

$$s(x_v, T) = c_\ell \ln(T) + \frac{x_v}{T} L_{vap}(T) + s_0$$

Où c_ℓ est la capacité thermique massique du corps pur à l'état liquide et s_0 est une constnate.

Initialement le piston est fixé à une position où le volume du cylindre est $V_1 = 10 \text{ litres}$. On y introduit une masse $m = 10 \text{ g}$ d'eau pure. Cet état correspond à un équilibre liquide-vapeur à la température $T_1 = 373 \text{ K}$ et à la pression de la vapeur saturante saturante $P_1 = 1,013 \text{ bar}$.

On suppose que la vapeur d'eau se comporte comme un gaz parfait.

On donne : La constante de gaz parfait $R = 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ et la mase molaire de l'eau $M_{H_2O} = 18 \text{ g mol}^{-1}$.

6.1. Calculer le titre massique x_{v1} correspondant.

6.2. A partir de cet état d'équilibre, on fait subir à l'eau une détente adiabatique réversible jusqu'à la température $T_2 = 323 \text{ K}$.

En supposant que c_ℓ est indépendante de la température dans le domaine étudié, calculer le titre massique x_{v2} à la fin de la détente.

On donne : La capacité thermique massique de l'eau $c_\ell = 4,18 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

$T \text{ (K)}$	$h_\ell \text{ (kJ/kg)}$	$h_v \text{ (kJ/kg)}$
323	208,96	2587,42
373	418,42	2671,44

III. Etude thermodynamique d'un fil métallique

On considère un fil métallique tendu grâce à une force de traction $\mathcal{F}$. La longueur L du fil s'exprime en fonction de la température T et de la traction $\mathcal{F}$ selon l'équation d'état :

$$L = L_0 \{1 + \lambda (T - T_0) + \alpha \mathcal{F}\} \quad (1)$$

Dans cette expression λ , α , L_0 et T_0 sont des constantes : $L_0 = 1 \text{ m}$, $\lambda = 24 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, $\alpha = 5 \times 10^{-6} \text{ N}^{-1}$ et $T_0 = 273,15 \text{ K}$.

1. Quel est le travail de traction δW reçu par le fil lorsqu'il s'allonge de dL sous l'action de $\mathcal{F}$? Justifier le signe.

2. Au cours d'une transformation infinitésimale réversible le fil reçoit une quantité de chaleur δQ_{rev} qui s'écrit :

$$\delta Q_{rev} = C_L dT + \ell dL = C_F dT + \kappa dF \quad (2)$$

2.a. Exprimer C_L et ℓ en fonction de T et des dérivées partielles appropriées de l'entropie S .

2.b. En introduisant l'énergie libre $F = U - TS$, démontrer la relation de Maxwell :

$$\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_L = -\left(\frac{\partial S}{\partial L}\right)_T$$

2.c. Calculer cette dernière quantité grâce à l'équation d'état (1).

2.d. Démontrer alors que :

$$\ell = \frac{\lambda T}{\alpha}$$

2.e. En remplaçant dans (2) dL par son expression en dT et dF [tirée de (1)] montre que les expressions de $C_F - C_L$ et de κ sont données par :

$$C_F - C_L = \frac{\lambda^2 T}{\alpha}$$

$$\kappa = \lambda T L_0$$

Par la suite **on supposera que C_F est une constante**, indépendante de T , L ou F .

2.f. A $T = T_0$ et $F = 0$, on a $C_L = 3,6 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$. Déterminer C_F .

3. A la température T_0 , sous traction nulle, l'énergie interne du fil est U_0 et son entropie est S_0 .

3.a. Montrer que l'expression de l'entropie $S(T, F)$ s'écrit :

$$S(T, F) = S_0 + C_F \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) + \lambda L_0 F$$

3.b. Donner l'expression de la variation dU de l'énergie interne au cours d'une transformation infinitésimale et montrer qu'elle est consistante avec la formule :

$$U(T, F) = U_0 + C_F(T - T_0) + \lambda L_0 T F + \alpha L_0 \frac{F^2}{2}$$

4. A partir d'un état $T = T_0$ et $F = 0$ on augmente de manière adiabatique réversible la traction subie par le fil jusqu'à une valeur F_1 . Soit T_1 la température finale.

Montrer que l'expression de la température T_1 est :

$$T_1 = T_0 \exp\left(-\frac{\lambda L_0 F_1}{C_F}\right)$$

Faire l'application numérique en prenant $F_1 = 100 \text{ N}$.

5. Le fil étant tendu sous traction F_1 à la température T_1 on relâche brutalement la traction. La traction F_1 étant obtenue grâce à un poids tirant sur le fil, ceci est par exemple réalisé en coupant, sans fournir de travail, la corde reliant le fil au poids. La transformation étant très



rapide, on peut considérer qu'elle est adiabatique. Soit T_2 la température juste après qu'on a coupé la corde.

5.a. Calculer la variation de température $T_2 - T_1$. Faire l'application numérique.

5.b. Montrer que :

$$T_2 \approx T_0 + \alpha L_0 \frac{F_1^2}{2 C_F}$$

N.B : $\exp\left(-\frac{\lambda L_0 F_1}{C_F}\right) = 1 - \frac{\lambda L_0 F_1}{C_F}$



BIBLIOTHÈQUE